第41卷 增刊
1998年9月
昆 虫 学 报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA
Vol. 41, Suppl.
Sept., 1998

田间麦蚜图象的边缘检测研究 *

于新文 沈佐锐
(中国农业大学植物科技学院昆虫学系，北京 100094)

图象作为更直接更丰富的信息载体，正在成为越来越重要的研究对象。昆虫是生物类群中物种最丰富、数量最多的一类，因此也是最为重要的生物类群之一。研究昆虫图象的处理和分析对昆虫形态学、昆虫生态学以及昆虫测报所需的田间抽样调查具有重要意义，最终将实现田间昆虫数量调查自动计数的计算机视觉系统。对昆虫图像的处理和识别来说，研究的兴趣在于图象中的昆虫部分，即昆虫部分作为前景。为了识别和分析目标，需要将这些有关区域分离鉴别出来，即将图象中昆虫部分与背景分割开来。而图象分割的重要步骤之一就是边缘检测。

1 材料与方法

1.1 材料

本文采用在世界范围内广泛分布的麦长管蚜 *Macrosiphum avenae* (Fabricius) 无翅成蚜的灰度图象 (356×591pixel, 为便于排版，本文中图象均按比例进行了缩小) 进行边缘检测的研究。边缘检测算法在 Borland C++5. 0 环境实现，软件运行环境为 IBM PC 兼容机 (Intel Pentium 133M, 16M 内存)。采用的边缘检测算法包括：梯度算子，Laplacian 算子，Sobel 算子，Kirsch 算子，Marr-Hildrith 算法，Canny 算法，Shen-Castan 算法，以及数学形态学算子。

1.2 边缘检测概述

在图象处理和分析中，边缘检测 (Edge Detection) 的应用最为普遍，描述边缘检测或边缘增强 (Edge Enhancement) 的算法最多[1]。昆虫图象中边缘形成昆虫的四周轮廓，是昆虫与背景的边界。如果昆虫图象中虫体的边缘可以精确的鉴别，则整个昆虫虫体所在的区域就可以确定下来，从而虫体的一些基本图象特征如形状、面积、周长等可以得到测量。边缘检测是图象分割过程的一部分[2,3]，一旦确定昆虫图象中昆虫的边界，就可将昆虫虫体与背景分割，得到昆虫图象，进而可对昆虫图象进行特征提取等操作。

1.3 几种边缘检测方法简介

在灰度图象中，边缘就是在特定位置出现的灰度变化，如昆虫图象中虫体与背景之间具有不同的灰度，从而形成边缘，即边缘是灰度不连续的结果。灰度变化越大，边缘越容易检测[1,3]。常用的边缘检测算法有三类，即微分算子、模板匹配法和基于边缘模型的算法[1]。

1.3.1 微分算子：若边缘定义为灰度的阶跃变化，对灰度变化敏感的运算就可以作为边缘检测算子。导数实质上反映了变化率的大小，因此可以对图象求导检测边缘。最简单的导数算子是梯度算子，它反映了边缘的强度信息（或称为边缘响应，Edge Response）和边缘象素的方向信息。

---

* 本研究为国家自然科学基金和博士点专项基金资助项目的部分内容
1997-11-03 收稿，1998-04-08 收修改稿

基于二阶导数的检测方法称为拉普拉斯（Laplacian）算子。在灰度边缘很陡时，梯度算子较有效，但对于边缘过渡区较宽时，用二阶偏导数更有优势。在检测结果中，边缘处于最大正值和最小负值之间的过零点（Zero Crossing）。

1.3.2 模板匹配法：模板匹配法是应用离散的小模板作为边缘的模型，而不是直接应用微分算子。模板匹配法既可以是用模板描述边缘，对边缘进行检测，也可以是对微分算子的一种近似。而后者是更为常用的方法[1,3]。这里采用了两种最为常用的模板匹配算法：Sobel 算法和 Kirsch 算法[4]，因为它们能给出较好的检测结果。

1.3.3 基于边缘模型的算法：Marr-Hildreth 算法。Marr（1980）试图将生物视觉的理论应用于机器视觉，提出了 Marr-Hildreth 算子[5]。该算子在使用 Laplacian 算子的同时，考虑了边缘宽度和图象噪声等问题，把 Gaussian 滤波和 Laplacian 滤波器结合起来，产生不同大小的卷积模板从而检测不同尺度的边缘。具有宽的 Gaussian 滤波器检测宽的、缓变的边缘，窄的 Gaussian 滤波器检测窄的、尖锐的和细节的边缘。(2) Canny 边缘检测器。Canny（1986）定义了一组边缘检测器应符合的条件，并描述了实现这些目标的最优方法，称为 Canny 方法[6]。Canny 认为边缘检测器应是一个平滑噪声、定位边界的卷积滤波器。Canny 对该方法提出的条件可以描述为：①算法应只对边缘响应，且应能检测到所有的边缘，即错误率最小。②检测到的边缘象素与实际象素间的距离应尽可能的小。③在只存在一个边缘的部位不应检测到多个边缘。(3) Shen-Castan 方法。Shen & Castan（1992）对边缘检测器的一般形式看法与 Canny 相同，即先对噪声进行平滑，再进行卷积，然后对边缘象素进行搜索、定位[7]。该滤波器使用的平滑滤波器是无限对称指数滤波器（Infinite Symmetric Exponential Filter，ISEF）。Shen-Castan 还采用了假过零点消除（False Zero Crossing Suppression）方法，使边缘的定位更准确。

1.3.4 数学形态学算法：数学形态学是基本运算为腐蚀（erosion）和膨胀（dilation），由此可以衍生出其他运算如开（opening）、闭（closing）、击中（hitting）、击不中（missing）等[2]。这些运算都是运用某种称为结构元素（structuring element）的模板进行类似卷积的运算实现的，实际上，结构元素的选择往往决定了形态学运算的性质[8,9]。数学形态学的边缘检测实际上是对原图象进行腐蚀运算，得到一个新的图象，然后求原图象与新图像的差，得到边缘图象。本文中形态学边缘检测是对二值图象进行的。

2 结果与分析

应用上述边缘检测算法对麦长管蚜图象（图 1：a）进行检测，结果见（图 1：b～i）。

梯度算子由于只是对图象一阶导数的差分近似，只能对灰度变化剧烈、即尖锐的边缘有响应，而对于灰度变化缓慢，平缓的边缘响应很弱或没有响应，因此，应用梯度算子对昆虫图象的检测结果（图 1：b）显示为离散的点形成的模糊的蚜虫体轮廓。但如果没有原图（图 1：a）作参照，恐怕难以鉴别出该图象为蚜虫的边缘图象。

拉普拉斯算子是图象的二阶导数，由于二阶导数的性质，使拉普拉斯算子对缓变的、宽的边缘也能有较强的响应，因此拉普拉斯算子的检测结果（图 1：c）显示了较为连续的虫体轮廓，触角、腹管也有了轮廓。但用于进一步的图象分割和特征提取还达不到要求。

在灰度过渡比较尖锐且噪声较小时，Sobel 算子效果较好。但 Sobel 算子仅是对梯度算子的改进，其检测结果（图 1：d）与梯度算子相比，略为改善，对一些细节的检测上（如触角、腹管），Sobel 算子不如拉普拉斯算子。图 1：e 显示了 Kirsch 算子的检测结果。Kirsch 算子虽然采用 8 个模板对图象进行卷积，但对蚜虫图象的检测结果与 Sobel 算子差别不大。

Marr-Hildreth 算法对边缘非常敏感。通过分析比较，对于蚜虫图象（图 1：a）的边缘检测，我们取 $\sigma=3.0$，采用 15×15 和 27×27 的模板进行两次高斯平滑，并分别进行 LOG 卷积，求取过零点作为边缘象素，将两次计算得到的边缘象素进行合并，与上述算法比较，得到较好的边缘图象（图 1：

f)。但由于模板较大，使得计算过程较费时，而且该算法在不含边缘的区域检测到了边缘，这是我们所不希望的。Marr-Hildreth 算法能够检测到较完整的边缘，但也检测到了不存在的边缘，使得图象分割增加了难度。对 Canny 算法，经过比较分析，标准差参数取值为 s＝0.4 可取得理想的边缘图象。由图 1．g 可看出，Canny 方法的检测结果较 Marr-Hildreth 方法理想，没有包含不应有的边缘，而且虫体边缘较为连续，许多细微部位如腹管边缘清晰可见。图 1．h 说明 Shen-Castan 方法能够检测出非常细微的边缘，轮廓较完整，虫体的整体边缘清晰而简单。但也检测到了一些不存在的边缘（图象左上部），这可能是由于 Shen-Castan 方法没有采用 Canny 方法中的多响应限制（Multiple-Response Constraint）指标，因此它的算法可能会对噪声或模糊边缘产生假的边缘响应。Canny 算法和 Shen-Castan 算法检测到的边缘都能用来进行进一步的图象处理，如图像分割。

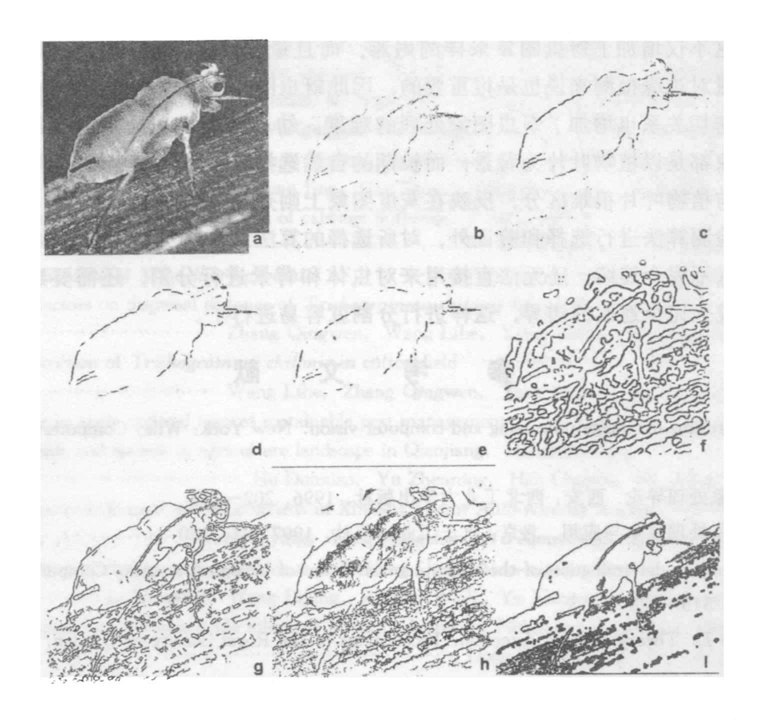


图 1　以不同边缘检测算法对麦长管蚜 *Macrosiphum avenae*（Fabricius）图象的处理结果

a．麦长管蚜无翅成蚜图象；b．梯度算子检测到的边缘图象；c．拉普拉斯算子（Laplacian）检测到的边缘图象；d．Sobel 算子的检测结果；e．Kirsch 算法的检测结果；f．Marr－Hildreth 算法的检测结果；g．Canny 算法的检测结果；h．Shen－Castan 算法的检测结果；i．形态学边缘提取算法的结果

Fig. 1　The detection result images of *Macrosiphum avenae* (Fabricius) by using various edge detectors.

a. Image of *M. avenae*; b. Detection result of gradient operator; c. Detection result of Laplacian operator; d. Detection result of Sobel operator; e. Detection result of Kirsch operator; f detection result of Marr-Hildreth algorithm; g. Detection result of Canny algorithm; h. Detection result of Shen-Castan algorithm; i. Detection result of morphological method

在蚜虫图象的边缘检测中，数学形态学算法的确表现了其先进性和准确性。由图 1．i 可以看出，检测的结果中蚜虫图象连续且清晰，而且非常简炼。而该算法的运算速度也是最快的。

3　讨论

本文尝试应用不同的边缘检测算法进行昆虫图象的边缘检测研究，结果表明，微分算子和模板匹配算法由于检测结果模糊且不连续，均无法满足蚜虫图象分割的要求；Marr-Hildreth 方法对边缘很敏

感，能够检测出很显著的边缘，但也检测到不存在的假边缘。比较理想的算法是 Canny 方法、Shen-Castan 方法和数学形态学边缘检测算法，这三种算法检测到的边缘都可进一步用于图象分割。但相比较而言，数学形态学算法因其算法的先进性、检测结果的近乎完美和运算速度快等优势，将作为图象分割过程中的首选边缘检测算法。而 Canny 和 Shen-Castan 方法算法相比则 Canny 方法对蚜虫图象边缘更为敏感，其检测结果亦可用于图象分割。基于模型的三种算法都可以用不同的参数值来调整检测器的检测行为，但 Shen-Castan 方法似乎对参数变化的响应不明显，在不同参数值下检测结果没有区别；而 Marr-Hildreth 算法和 Canny 算法对参数值的变化反应明显，本文所选的检测结果均取其不同参数值下的最优检测结果图象。

由于昆虫体形变异很大，体色复杂多变，既使是昆虫的灰度图象也很复杂，因此昆虫图象的边缘检测就显得很困难，对检测算法的选择和验证也就很重要了。对蚜虫而言，由于虫体非常小，再加上昆虫是活动的，这不仅增加了蚜虫图象采样的困难，而且量化的图象往往也很难达到令人满意的程度，而图象的质量对边缘检测来说也是很重要的，因此蚜虫图象的处理和分析尤为困难。另外，蚜虫与其寄主植物的密切关系也增加了蚜虫图象处理的难度。幼小的蚜虫总是生活在寄主植物叶片上的，因此多数蚜虫图象都是以植物叶片为背景，而长期的自然选择和进化使蚜虫具有保护色，虫体大多数时间呈黄绿色，与植物叶片很难区分，反映在灰度图象上则是灰度值的变化不大，边缘过渡缓慢。

除了对边缘检测算法进行选择和验证外，对所选择的算法结合昆虫特点进行改进也是必要的。另外，检测到的边缘不完全连续，还无法直接用来对虫体和背景进行分割，还需要进行边界闭合运算，使检测到的边缘成为完全连续的边界，这样进行分割就容易进行了。

参 考 文 献

1 Parker J R. Algorithms for image processing and computer vision. New York: Wiley Computer Publishing, 1996. 1～3, 68～103

2 赵荣椿. 数字图象处理导论. 西安：西北工业大学出版社，1996. 202～213

3 崔 屹. 数字图象处理技术与应用. 北京：电子工业出版社，1997. 93～120

4 Kirsch R A. Computer determination of the constituent structure of biological images. Computers and Biomedical Research. 1971. 4: 315～328

5 Marr D, Hildreth E. Theory of edge detection. Proceedings of the Royal Society of London. Series B. 1980, 207: 187～217

6 Canny J A. Computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986, PAMI-8. (6): 679～698

7 Shen J, Castan S. An optimal linear operator for step edge detection. Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Graphical Models and Understanding. 1992. 54 (2): 112～133

8 龚 伟，石青云，程民德. 数字空间的数学形态学. 北京：科学出版社，1997. 138

9 Haralick R M, Sternberg S R, Zhuang X. Image analysis using mathematical morphology. IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1987, PAMI-9: 532～550

EDGE DETECTION ON IMAGE OF FIELD APHID *MACROSIPHUM AVENAE* (FABRICIUS)

Yu Xinwen Shen Zuorui

(Department of Entomology, The China Agricultural University, Beijing 100094)